

谭秋锦,覃振师,黄锡云,等. 峰丛洼地不同林龄核桃生物量与土壤养分的关系[J]. 中国岩溶, 2016, 35(2): 226—232.
DOI:10. 11932/karst20160213

峰丛洼地不同林龄核桃生物量与土壤养分的关系

谭秋锦¹,覃振师¹,黄锡云¹,张 浩^{2,3},陈海生¹,曾馥平^{2,3},王文林¹

(1. 广西南亚热带农业科学研究所,广西 龙州 532415;

2. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室,湖南 长沙 410125;

3. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站,广西 环江 547100)

摘 要:文章以喀斯特峰丛洼地的核桃(*Juglans regia*)人工林为研究对象,采用野外与室内相结合的方法,分析了不同林龄核桃生物量与土壤养分的变化规律,比较了土壤养分与环境因子(坡度、坡向、坡位和裸岩率)的相关性,探讨了土壤养分对生物量的影响作用。结果表明:(1) 核桃林生物量随林龄的增大而增大;不同林龄均以树干和根系比重为主,占整个生物量的 60% 以上;(2) 除速效钾外,土壤养分表现为盛产期(33 年) > 幼苗期(2 年) > 初果期(10 年),不同林龄之间的土壤养分差异显著;(3) 相关分析表明,土壤养分与坡位、裸岩率无相关性,与坡度、植被覆盖率呈负相关;(4) 主要影响核桃幼苗期生物量的是全磷,初果期的是速效磷,盛果期的是速效氮。因而土壤肥力状况是喀斯特地区核桃人工林培育需要考虑的重要因素之一。

关键词:核桃;峰丛洼地;林龄;生物量;土壤养分

中图分类号:Q948. 1;S158

文献标识码:A

文章编号:1001—4810(2016)02—0226—07

0 引 言

我国西南滇黔桂连带成片的喀斯特地区,属世界三大喀斯特地区之一,因受自然因素(土层浅薄、土被不连续、成土慢等)和人为因素(过度开发及耕作方式不合理)影响,大部分地区的植被退化严重,并逐渐石漠化^[1-2]。据统计,我国西南地区石漠化面积达到 10 多万 km²,直接威胁到长江、珠江流域上游的生态安全^[3-4]。目前,我国石漠化治理主要采用植被恢复方法,实施退耕还林是恢复西南喀斯特地区植被、遏制生态环境恶化的关键措施^[5]。人工林施肥可提供土壤养分是该地区退耕还林工程实施的基础^[6]。土壤养分的改善会促进植被恢复,但不同林龄人工林下的土壤物理、化学性质可能存在较大差异,从而对

林木生物量及果实产量产生影响^[7-9]。

核桃(*Juglans regia*)是喀斯特地区主要的经济树种和木本油料植物,也是一种重要的高档干果。种植核桃对恢复荒山植被、保持水土流失和增加农民收入有重要作用。近年来,作为滇黔桂石漠化片区扶贫攻坚的主战场,桂西北喀斯特地区将种植核桃列为新阶段开发扶贫攻坚行动的重点产业。然而,随着核桃在这些区域的大规模种植,盲目选地及整地养分分区管理问题日益突出,制约了核桃产业的快速发展。如云南大理州盲目大面积种植核桃破坏了植物的多样性,造成生态失衡和水土流失,为此,《西布河乡人民政府 2008 年至 2012 年核桃产业发展实施方案》中指出,需合理选择适宜的品种及气候条件,才能发展核桃产业。由于长期受传统农业生产方式的影响,人们

资助项目:广西公益基金项目(GXNYRKS201506, GXNYRKS201611, GXNYRKS201612);国家科技支撑计划项目(2015BAD06B04—06);中国科学院西部行动计划项目(KZCX2—XB3—10);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05070404, XDA05050205);中国科学院“西部之光”人才培养项目

第一作者简介:谭秋锦(1987—),女,硕士,助理研究员,主要从事喀斯特果树栽培技术、养分方面的研究。

通讯作者:张 浩(1978—),男,副研究员,博士,主要从事喀斯特生态恢复方面的研究, E-mail: zhanghao@isa. ac. cn;曾馥平(1964—),男,研究员,主要从事喀斯特生态方面的研究, E-mail: fpzeng@isa. ac. cn。

收稿日期:2015—05—14

的环境保护观念淡薄,林农对核桃林地管理粗放,造成生态环境退化,而峰丛洼地高异质性的土壤养分,可能影响土壤生产力的空间分布及核桃的长势和产量,之前研究者主要是对核桃坚果品质、品种耐寒特性、遗传多样性等方面进行过探讨^[10-12],少数研究了细菌对核桃根际土壤生物学影响及不同人工植被恢复模式对山核桃林地土壤养分的变化规律,而目前对喀斯特地区核桃生物量与土壤养分的关系鲜有报道^[13-14]。本文通过研究桂西北峰丛洼地不同林龄核桃生物量和土壤养分的变化过程及其相互关系,探讨核桃产地土壤养分特点及其生物量效应,以期为峰丛洼地核桃种植立地条件的选择和养分高效管理措施的制订提供依据。

1 研究区概况

研究区位于广西河池市凤山县(图 1),24°15′~24°49′N、106°40′~107°2′E 之间,最高海拔 1 100 m,属亚热带季风气候区,年平均气温 15~17℃,年极端高温为 37.1℃,最低气温为-3.4℃,日平均气温稳定在 10℃ 以上的日数有 255~283 d,无霜期 313~328 d,全年降雨量 1 564.0 mm;地处云贵高原南部边缘地带,地势由西北向东南倾斜,山多地少,主要种植八角(*Illicium verum*)、油茶(*Camellia oleifera* Abel)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、核桃(*Juglans regia*)等林产品。该区核桃人工林种植面积广,林下以石灰土和壤土为主,pH 值为 6.5~8.0。核桃林生长发育的不同时期对养分需求量不同,在栽植后幼苗期(0~4 a)、初果期(6~12 a)和盛产期(15~30 a)施肥量都不一样(表 1);施肥主要在每年春季和夏初进行,幼龄林 5—8 月再次补充施肥,均以氮肥为主,隔年添加磷肥。

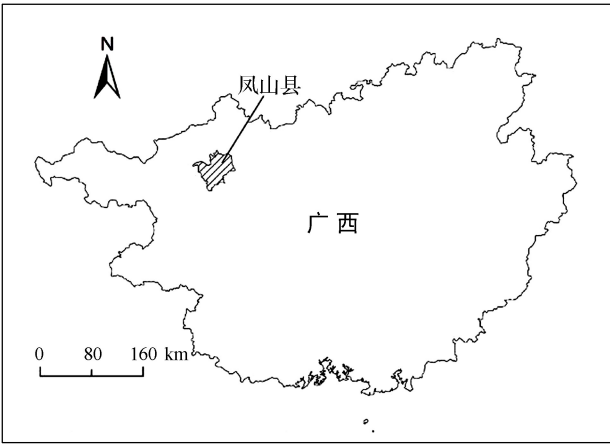


图 1 研究区示意图
Fig. 1 Location of the study area

表 1 样地施肥情况

Table 1 Fertilization of experimental sample sites

林分	类型和用量/株/年	次数
幼苗期	氮肥 50 g、磷肥 20 g、钾肥 20 g	2
初果期	氮肥 50 g、磷肥 20 g、钾肥 20 g、有机肥 5 kg	1
盛产期	氮肥 100 g、磷肥 40 g、钾肥 40 g、有机肥 10 kg	1

2 研究方法

2.1 样方设置与调查

参考国家林业局《森林资源规划设计调查主要技术规定(2003)》,2013 年 5 月选择林相整齐、具有代表性的核桃林地段作为固定标准地:幼苗期、初果期和盛产期样地,各设计 3 块,共 9 块样地,面积均为 2 500 m²(50 m×50 m),每块样地进一步划分为 25 个 10 m×10 m 的样方,即一个龄级有 75 个样方,手持 GPS(GPSmap 60)定位,并进行植被现状、立地条件、人为干扰情况等调查。各林分样地基本信息见表 2。

表 2 研究样地基本特征(平均值±标准差,n=25)

Table 2 General characteristic of experimental sample sites(means±SD,n=25)

林分	年龄/a	坡度/°	坡向	坡位	栽植密度/m	裸岩率/%	植被覆盖率/%	pH 值
幼苗期	2±1.17Cc	22.36±0.71Aab	1±0.038Cc	2.06±0.15Aa	4.0×3.0	25.78±3.05Bb	44.82±4.52Bb	6.92±0.10Bb
初果期	10±1.39Bb	24.10±0.84Aa	2±0.045Aa	1.85±0.17Bb	4.0×3.0	12.155±3.61Aa	88.30±5.35Aa	7.92±0.12Aa
盛产期	33.55±2.07Aa	19.88±1.26Bbc	1.55±0.068Bb	1.44±0.26Cc	4.0×3.0	9.11±5.38Aa	29.55±7.97Bb	7.95±0.18Aa

注:同列不同大写字母表示差异极显著(P<0.01),不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同。

2.2 生物量获取

目前获得森林中乔木层生物量的方法主要有皆伐法、平均木法和回归估计法(相对生长法)3种^[15]。鉴于本次研究对象是经济林作物果树,核桃属于果树的一种,采用果树生物量间接测定法^[16]比较适合。以个体为主,选择2龄、10龄、33龄三个龄级的各5株核桃为试材,采集树根、干(茎)、枝、叶,并测其鲜重和水分系数,同时测定样方各龄树体干周,建立数学模型,用于换算生物量。所用公式如下(Y 为总干重和各器官干重,单位为kg; X 为树龄,单位为a):

总干重: $Y=762.262 \times \{1 - 0.376 \times \exp[-0.081 \times (X - 11.541)]\}^{2.66}$;

根干重: $Y=245.987 \times \{1 + 0.207 \times \exp[-0.162 \times (X - 15.215)]\}^{-4.831}$;

茎干重: $Y=388.977 \times \{1 - 0.668 \times \exp[-0.066 \times (X - 8.154)]\}^{1.49}$;

叶干重: $Y=72.728 \times \{1 - 0.341 \times \exp[-0.121 \times (X - 6.779)]\}^{2.933}$

2.3 土壤取样

在25个10 m×10 m小样方采集土样时,先将土壤表面枯枝落叶除掉,在每个样方内按照“S”形设置5个样点,在0~20 cm取样,每个点所取样的质量充分混合后约1 kg,每点用环刀法取土,用于测定土壤容重,每个龄级重复3个,共75个样品,3个龄级总共225个样品。用自封袋密封带回实验室,一份用于水分的测定,另一份去掉根系、石块,过2 mm钢筛后风干,研磨成粉,测定pH值、有机碳(SOC)、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、速效氮(AN)、速效磷(AP)、速效钾(AK),分析方法详见^[17]。测土壤pH值采用电极电位法;测有机碳(SOC)采用重铬酸钾氧化外加热法;测全氮(TN)采用半微量开氏法(流动注射仪);测全磷(TP)采用NaOH熔融钼锑抗显色紫外分光光度法;测全钾(TK)采用NaOH熔融原子吸收法;测速效氮(AN)采用扩散法;测速效磷(AP)采用0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃提取钼锑抗显色

紫外分光光度法;测速效钾(AK)采用NH₄Ac浸提原子吸收法。

2.4 数据处理

采用单因素方差和多因素方差分析法分析3种不同林龄核桃生物量与土壤养分的关系,并采用最小显著差法进行多重比较。所应用的软件为Excel2007、SPSS 16.0。

3 结果分析

3.1 不同林龄核桃生物量及其分配格局

通过分析不同林龄核桃各器官生物量数据可知(表3),核桃林生物量与其林龄密切相关,均随林龄的增大而增大。盛产期的核桃林内通气状况、光照和热量条件都较好,可接收到的地表降雨量多,冠层郁闭度高,根系分泌活跃,使得其生物量显著高于其他林龄^[18]。但各器官生物量的增加幅度不同,其占总生物量的比例也有所变化,不同林龄核桃生物量在各器官中的分配比例大小略有不同,2年生林分为:根>干>枝>叶;10年生林分为:干>枝>根>叶;33年生林分为:干>根>枝>叶。根、干、枝和叶在不同生长阶段分配比率大小不同,表明了核桃根、干、枝和叶在不同发育阶段其生长上的差异。不同林龄的叶都是最小的,2年生的根大于干,而10年、33年生的核桃都是干大于根。因为叶子在整棵树中占的比重少,发育期靠根系间接提供养分生长,根系生物量大于干生物量,而随着林龄增大,枝叶茂盛,光合器官相对发达,茎干支撑整体,因此干的比重大于根。

随着林龄的增加各器官生物量的分配体现一定的规律性,在各个年龄阶段均以树干和根的生物量最大,占整个生物量的62.39%~63.59%,表明随着年龄的增加,干重的增长是一个净积累的过程。枝、叶占总生物量的比例也呈上升趋势,但核桃林是落叶树种,枝、叶在积累的同时却有部分的衰老组织在脱落,具有比较强烈的更新换代过程^[19]。

表3 不同林龄核桃生物量及其器官分配

Table 3 Biomass and allocation in its organs for the *Juglans regia* trees in different stand ages

林龄/ a	根		干		枝		叶		总计	
	生物量/ kg/hm ²	占总生物 量比例/%	生物量/ kg/hm ²	占总生物 量比例/%	生物量/ kg/hm ²	占总生物 量比例/%	生物量/ kg/hm ²	占总生物 量比例/%	生物量/ t/hm ²	占总生物 量比例/%
2	476.82±0.10Cc	39.15	283.18±0.10Cc	23.24	239.45±0.10Cc	19.66	218.63±0.11Cc	17.95	1.22±0.10Cc	100
10	4 076.38±0.12Bb	26.67	5 644.22±0.12Bb	36.92	4 170.45±0.12Bb	27.28	1 395.38±0.12Bb	9.13	15.29±0.12Bb	100
33	16 991.83±0.17Aa	30.14	18 536.54±0.18Aa	32.88	16 373.95±0.17Aa	29.04	4 479.67±0.19Aa	7.95	56.38±0.18Aa	100

3.2 不同林龄核桃林地土壤养分分布及其影响因子

土壤氮、磷、钾含量和土壤有机质以及其动态平衡共同构成了土壤肥力的重要指标,反映了土壤对植被提供养分的潜在能力^[20]。不同林龄核桃林地的速效钾表现为盛产期(33 年)>初果期(10 年)>幼苗期(2 年);其余养分都表现为盛产期(33 年)>幼苗期(2 年)>初果期(10 年)(表 4)。这是由于在造林初期,退化喀斯特土壤处于扰动后的恢复期,核桃林通过凋落物等形式返还的有机物量少,因此养分含量较低。而随着林分生长发育,植物残余物增加,土壤养分含量逐渐升高^[21],同时也说明随着核桃人工林的林龄增大,土壤养分含量也逐渐增高,这有助于改善土壤肥力。而幼苗期大于初果期,主要是开始种植时,人工不定期施肥的结果。不同林龄之间的差异大部分达到了极显著水平。从表 5 中可以看出,有机质和全

氮与坡度呈显著负相关,而速效氮与坡度是极显著关系;全磷和速效氮与坡向呈显著负相关,全钾与坡向是极显著关系;全氮和全磷与植被覆盖率呈显著负相关关系,而全钾和速效氮与植被覆盖率呈极显著负相关关系,表明了土壤养分与坡位、裸岩率无显著相关性,而与坡度、植被覆盖率呈负相关。不同林龄核桃土壤养分呈极显著关系表现的有:全氮与有机质;全磷与有机质、全氮;全钾与全磷;速效氮与有机质、全氮和全钾;速效磷与有机质、全氮、全磷和速效磷;速效钾与有机质、全氮、全磷、速效氮和速效磷,说明土壤氮矿化较高,从而使高有机质含量的地方具有较高的全养分和速效养分含量^[22]。土壤养分之间的相关关系对于分析土壤肥力有重要意义,可作为土壤肥力的观测和评价指标,同时对指导合理施肥也具有重要作用^[23]。

表 4 不同林龄核桃林地土壤总体特性

Table 4 General soil characteristi in the plantation of the *Juglans regia* trees in different stand ages

阶段	有机质/%	全氮/%	全磷/%	全钾/%	速效氮/mg/kg	速效磷/mg/kg	速效钾/mg/kg
幼苗期	2.79±0.19Bb	0.179±0.009Bb	0.085±0.005Bb	1.81±0.059Aa	173.63±0.135Bb	6.6±0.167Bb	145.93±0.154Bb
初果期	2.64±0.23Bb	0.16±0.011Bb	0.056±0.006Cc	1.389±0.07Bb	113.71±0.159Cc	6.46±0.197Bb	159.25±0.182Bb
盛产期	4.93±0.34Aa	0.25±0.016Aa	0.121±0.008Aa	2.029±0.104Aa	247.49±0.248Aa	140.17±0.294Aa	533.48±0.271Aa

3.3 不同林龄核桃生物量与土壤养分之间的关系

核桃生长过程中生物量的变化有其内在原因,另外也与土壤养分的变化有关。核桃林生长是土壤养分不断积累、土壤物理性能不断改善的过程。不同林龄对表层土壤中有机质和有效养分累积方式和机理不同,对核桃生物量也有显著影响^[24-25]。苗木生长中,林地理化特性较差,土壤养分累积受限^[26],所以需要人为施肥改造土壤肥力,以便对衰退的地力进行有效地抑制及恢复^[27]。喀斯特退耕后随着群落覆盖度的增加,林分组成种对空闲生态位的利用较为充分,林龄越大,生物量越大^[28]。但是,由于坡向、坡度、坡位、裸岩率等立地条件对水、肥、光和热等再分配,土壤养分和群落生物量还会受到立地条件的影响。在排除年限和立地条件的影响后,核桃生物量与土壤有机质、全氮、全磷、速效氮、速效磷和速效钾呈极显著相关,相关系数分别为 0.58、0.44、0.48、0.47、0.57 和 0.67(表 6),说明核桃生物量是各种因素综合作用的结果。表 4 中不同龄级核桃土壤养分的平均值都表现为有机质最大,全钾次之,速效磷最小,表明核桃地有机质丰富,有效磷比较缺乏,可能与当地长期使

用有机肥,很少施用磷肥有关。为了比较土壤养分对不同林龄核桃生物量影响的大小,根据调查的资料,排除受施肥、耕作措施、种植制度等随机因素影响,对目前影响不同林龄核桃生物量的土壤养分再次进行逐步回归分析,筛选出土壤养分的主要影响因子,表达式为:(1) $Y_{幼} = -529.382\ 911 + 20\ 515.250\ 112X_3$; (2) $Y_{初} = 22\ 011.212\ 41 - 1\ 041.551\ 987\ 6X_5$; (3) $Y_{盛} = 3\ 389.765\ 02 + 214.114\ 801\ 58X_4$ 。根据式中可知主要影响核桃幼苗期生物量的是全磷,初果期的是速效磷,盛产期的是速效氮,这与王永利等^[29]研究早实品种“绿岭”不同林龄核桃园的土壤养分相似。磷元素在核桃幼苗期和初果期尤其重要,缺磷将降低根系水分导度、叶柄木质部导管发育和导水率,干扰幼苗水分平衡,导致叶片水势降低,气孔导度下降,限制核桃叶片光合作用,从而影响核桃幼苗生长^[29]。土壤中全磷含量在表层土低,磷肥不易移动,易被土壤固定,生成不溶性的磷酸盐,根系不能吸收利用,所以磷肥最好能随有机肥深施至根系集中分布的 21~40 cm 土层内^[23]。氮肥在土壤中的移动性强,施肥宜在表土层内,即能通过渗透到根系集中分布层被吸收利用。

表 5 核桃林立地条件与土壤养分的相关性

Table 5 The correlation of site conditions and soil nutrients of the *Juglans regia* plantation

相关系数	坡度/°	坡向	坡位	裸岩率/ %	植被覆 盖率/%	pH 值	有机质/ %	全氮/ %	全磷/ %	全钾/ %	速效氮/ mg/kg	速效磷/ mg/kg	速效钾/ mg/kg
坡度/°	1												
坡向	0.30*	1											
坡位	0.15	-0.09	1										
裸岩率/%	-0.05	-0.38**	0.36**	1									
植被覆盖率/%	0.1	0.52**	-0.42**	-0.49**	1								
pH 值	-0.03	0.50**	0.09	-0.24	0.15	1							
有机质/%	-0.33*	-0.05	-0.16	-0.09	-0.22	0.31*	1						
全氮/%	-0.32*	-0.16	-0.07	-0.03	-0.27*	0.23	0.94**	1					
全磷/%	-0.22	-0.26*	-0.19	-0.04	-0.32*	-0.04	0.75**	0.79**	1				
全钾/%	-0.06	-0.47**	-0.01	-0.03	-0.44**	-0.1	0.04	0.1	0.35**	1			
速效氮/mg/kg	-0.35**	-0.30*	-0.17	0.12	-0.48**	-0.08	0.75**	0.72**	0.76**	0.22	1		
速效磷/mg/kg	-0.04	0.15	-0.04	-0.15	-0.19	0.24	0.64**	0.62**	0.80**	0.15	0.55**	1	
速效钾/mg/kg	-0.15	0.14	-0.14	-0.21	-0.15	0.43**	0.74**	0.70**	0.78**	0.19	0.59**	0.84**	1

注：* p<0.05；* * p<0.01。

表 6 不同林龄核桃生物量与土壤养分之间的关系

Table 6 The relationship between biomass of the *Juglans regia* trees in different stand ages and soil nutrients

相关系数	有机质/ %	全氮/ %	全磷/ %	全钾/ %	速效氮/ mg/kg	速效磷/ mg/kg	速效钾/ mg/kg	生物量/ kg/hm ²
有机质/%	1							
全氮/%	0.94**	1						
全磷/%	0.75**	0.79**	1					
全钾/%	0.04	0.1	0.35**	1				
速效氮/mg/kg	0.75**	0.72**	0.76**	0.22	1			
速效磷/mg/kg	0.64**	0.62**	0.80**	0.15	0.55**	1		
速效钾/mg/kg	0.74**	0.70**	0.78**	0.19	0.59**	0.84**	1	
生物量	0.58**	0.44**	0.48**	0.1	0.47**	0.57**	0.67**	1

注：变量 X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、Y 分别为有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、生物量。

4 结论与建议

(1)核桃生物量表现为盛产期(56.38 t/hm²) > 初果期(15.29 t/hm²) > 幼苗期(1.22 t/hm²)，生物量随林龄的增大而增大。不同林龄核桃生物量的分配格局为，2年生：根>干>枝>叶；10年生：干>枝>根>叶；33年生：干>根>枝>叶，均以树干和根系比重为主，占整个生物量的60%以上。

(2)除速效钾外，土壤养分表现为盛产期(33年) > 幼苗期(2年) > 初果期(10年)，土壤养分含量随林龄的增长先减后增，同林龄间的全量养分有机质 > 全钾 > 全氮 > 全磷；速效养分除幼苗期外，表现为速效钾 > 速效氮 > 速效磷，不同林龄之间的土壤养分差异显著。土壤养分与坡位、裸岩率无相关性，与坡度、植被覆盖率呈负相关。

(3)土壤肥力状况是喀斯特地区核桃人工林培育

的重要因素之一,核桃生物量与土壤养分之间的相关性表明,影响不同林龄核桃生物量的主要因子不一样,核桃幼苗期主要是全磷,初果期是速效磷,盛产期是速效氮。可根据不同林龄下产生的结果有针对性地改进施肥方式,如核桃幼苗期和初果期多施磷肥,促进果树生长发育,盛产期多施氮肥以促进果实的发育及丰产。

参考文献

- [1] 吴协保,孙继霖,林琼,等.我国西南岩溶石漠化土地生态建设分区治理思路与途径探讨[J].中国岩溶,2009,28(4):391—396.
- [2] 郭红艳,王月容,卢琦,等.岩溶石漠化地区生态系统服务价值评价[J].中国岩溶,2013,32(2):211—217.
- [3] 杨光忠.试谈岩溶石漠化地区植树造林构想:爆破造隙蓄水凿岩挖坑培土植树造林法[J].中国岩溶,2010,29(1):32—34.
- [4] 谭秋锦,宋同清,彭晚霞,等.西南峡谷型喀斯特不同生态系统的碳格局[J].生态学报,2014,34(19):5579—5588.
- [5] Zhang H, Song T Q, Wang K L, et al. Biomass and carbon storage in an age-sequence of *Cyclobalanopsis glauca* plantations in southwest China[J]. Ecological Engineering, 2014, 73(2): 184—191.
- [6] 王明月,刘绍雄,熊智丁,等.石漠化地区豆科植物根瘤菌降解碳酸钙、镁能力研究[J].生态环境学报,2014,23(10):1581—1585.
- [7] 杜峰,梁宗锁,徐学选,等.陕北黄土丘陵区撂荒草地群落生物量及植被土壤养分效应[J].生态学报,2007,27(5):1673—1683.
- [8] Ross D J, Ma H K. Land rehabilitation under pasture on volcanic parent materials: Changes in soil microbial biomass and C—metabolism and N—metabolism[J]. Australian Journal of Soil Research, 1994, 32(6): 1321—1337.
- [9] Garcia C, Hernandez T, Albaladejo J, et al. Revegetation in semiarid zones: influence of terracing and organic refuse on microbial activity[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(3): 670—676.
- [10] 马艳萍,马惠玲,刘兴华,等.鲜食核桃和干核桃贮藏生理及营养品质变化比较[J].食品与发酵工业,2001,37(3):235—238.
- [11] 相昆,张美勇,徐颖,等.不同核桃品种耐寒特性综合评价[J].应用生态学报,2011,9(2):2325—2330.
- [12] 陈良华,胡庭兴,张帆,等.用 AFLP 技术分析四川核桃资源的遗传多样性[J].植物生态学报,2008,32(6):1362—1372.
- [13] 黄鑫龙,孟艳琼,傅松玲,等.不同人工植被恢复模式对山核桃林地土壤理化性质的影响[J].中国农学通报,2014,30(22):64—68.
- [14] 刘方春,邢尚军,马海林,等.干旱生境中接种根际促生细菌对核桃根际土壤生物学特征的影响[J].应用生态学报,2014,32(5):1094—1103.
- [15] 赵金龙,王涿鑫,韩海荣,等.辽河源不同龄组油松天然次生林生物量及空间分配特征[J].生态学报,2014,34(23):7026—7037.
- [16] 吴伟斌,洪添胜,李震,等.果树生物量的间接测量方法[J].江苏大学学报(自然科学版),2007,28(4):284—288.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 安然,龚吉蕊,尤鑫,等.不同龄级速生杨人工林土壤微生物数量与养分动态变化[J].植物生态学报,2011,35(4):389—401.
- [19] 刘方,王世杰,刘秀明,等.喀斯特石漠化区不同优势树种根际土壤有机碳及氮磷的变化[J].中国岩溶,2011,30(1):59—65.
- [20] 谭秋锦,宋同清,曾馥平,等.峡谷型喀斯特不同生态系统土壤养分及其生态化学计量学特征[J].农业现代化研究,2014,35(2):225—228.
- [21] Frey S D, Elliott E T, Paustian K. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(4): 573—585.
- [22] 伍宇春,傅瓦利,程辉,等.岩溶区坡耕地土壤肥力综合评价:以重庆中梁山坡耕地样区为例[J].中国岩溶,2014,33(2):223—230.
- [23] 刘月娇,张洋,倪九派,等.基于地统计学烟区土壤养分及 pH 值空间异质性分析:以重庆市酉阳县岩溶区为例[J].中国岩溶,2014,33(3):319—325.
- [24] Noh N J, Son Y, Lee S K, et al. Carbon and nitrogen storage in an age-sequence of *Pinus densiflora* stands in Korea[J]. Science China Life Sciences, 2010, 53(7): 822—830.
- [25] Cao J, Wang X, Tian Y, et al. Pattern of carbon allocation across three different stages of stand development of a Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) forest[J]. Ecological Research, 2012, 27(5): 883—892.
- [26] 康冰,刘世荣,史作民,等.南亚热带人工马尾松林下植物组成特征及主要木本种群生态位研究[J].应用生态学报,2005,16(9):1786—1790.
- [27] 巨文珍,王新杰,孙玉军.长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律[J].生态学报,2011,31(4):1139—1148.
- [28] Hierro J L, Maron J L, Callaway R M. A biogeographical approach to plant invasions: the importance of studying exotics in their introduced and native range[J]. Journal of Ecology, 2005, 93(1): 5—15.
- [29] 王永利,李保国,齐国辉,等.不同年龄早实核桃园土壤主要矿质元素含量变化研究[J].河北农业大学学报,2009,32(2):25—33.

Relationships between biomass of the *Juglans regia* trees in different stand ages and soil nutrients in karst peak-cluster depression

TAN Qiu-jin¹, QIN Zhen-shi¹, HUANG Xi-yun¹, ZHANG Hao^{2,3},
CHEN Hai-sheng¹, ZENG Fu-ping^{2,3}, WANG Wen-lin¹

(1. Guangxi Institute of Tropical Agricultural Science, Longzhou, Guangxi 532415, China;

2. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture,
CAS, Changsha, Hunan 410125, China;

3. Huanjiang Observation and Research Station of Karst Ecosystems, CAS, Huanjiang, Guangxi 547100, China)

Abstract The objective of this study is to explore the change process and the relationships between biomass and soil nutrients for different-aged *Juglans regia* plantation in karst peak-cluster depression in the north-west of Guangxi Province. Based on a combination of field investigation and laboratory analysis, this study analyzed the change in biomass and soil nutrients and the influence of soil nutrients on the biomass of the *Juglans regia* trees in different stand ages. It also discussed the biomass of the *Juglans regia* trees and associated soil nutrients; and established relationship between soil nutrients and environmental factors (e. g. slope aspect, gradient and position and bare rock rate). The biomass of the *Juglans regia* trees increases along with the stand age, of which the trunk and root accounted for more than 60% of the total biomass. Except for the available potassium, the soil nutrients have such a trend as rich fruiting period (33 years) > seedling stage (2 years) > early fruiting (10 years). The result of correlation analysis showed that there was no significant relationship between soil nutrient, slope position and bare rock rate. However, there was negatively significant correlation between soil nutrient, slope, and vegetation coverage. The biomass of the *Juglans regia* trees is a result of the combined influence of various factors and their growth at different stages is affected by different factors. For example, in seedling period the biomass of the *Juglans regia* trees is controlled by total phosphorus; but that is controlled by available phosphorus in early fruiting and by available nitrogen in rich fruiting. Based on these findings, soil nutrient should be considered as one of key factors in the *Juglans regia* plantation cultivation in karst regions.

Key words *Juglans regia*, karst peak-cluster depression, stand age, biomass, soil nutrients

(编辑 黄晨晖)